

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-261670

(43)Date of publication of application : 13.09.2002

(51)Int.Cl.

H04B 7/10  
H04B 1/04  
H04B 7/06  
H04B 7/08  
H04B 7/26  
H04B 1/707  
H04J 15/00

(21)Application number : 2001-052845

(71)Applicant : YRP MOBILE

TELECOMMUNICATIONS KEY TECH  
RES LAB CO LTD  
MITSUBISHI ELECTRIC CORP

(22)Date of filing : 27.02.2001

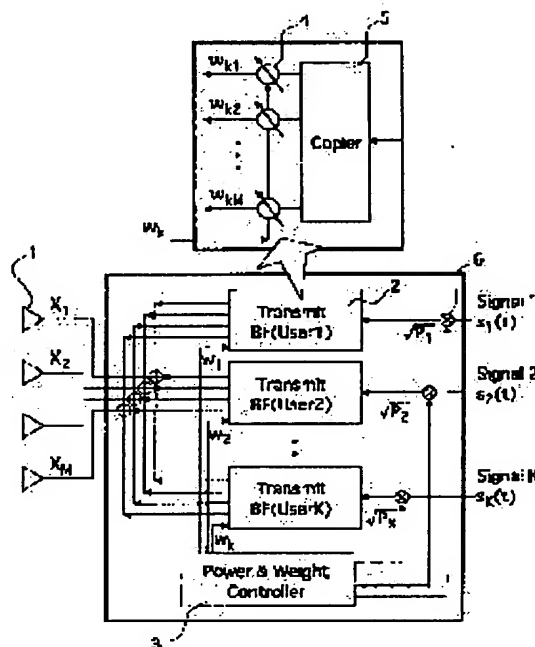
(72)Inventor : HARA YOSHITAKA

## (54) WIRELESS TRANSMITTING APPARATUS AND WIRELESS RECEIVING APPARATUS

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To form a beam more suited to an incoming link and suppress mutual signal interference between users.

SOLUTION: In a base station of SDMA scheme or a base station of CDMA, transmission power and weight controller 3 seek a correlation matrix which is based on transmission information for every user in accordance with beam forming algorithm which is based on a virtual outgoing link to perform a weight calculation using the correlation matrix sought by weighted sum. The acquired weight is multiplied by a transmission signal corresponding to a plurality of antenna elements and transmitted, thereby the mutual interference between users being suppressed. Requirements for different qualities are also met.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

**This Page Blank (usptc**

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2002-261670  
(P2002-261670A)

(43) 公開日 平成14年9月13日 (2002.9.13)

(51) Int.Cl.	識別記号	F I	テーマコード(参考)
H 0 4 B	7/10	H 0 4 B	A 5 K 0 2 2
	1/04		E 5 K 0 5 9
	7/08		5 K 0 6 0
	7/08		D 5 K 0 6 7
	7/26		1 0 2

審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全 22 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2001-52845(P2001-52845)

(22) 出願日 平成13年2月27日(2001.2.27)

(71) 出願人 395022548  
株式会社ワイ・アール・ビー移動通信基盤  
技術研究所  
神奈川県横浜市港北区榎町一丁目21番地16  
号  
(71) 出願人 000006013  
三菱電機株式会社  
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号  
(74) 代理人 100106459  
弁理士 高橋 英生 (外3名)

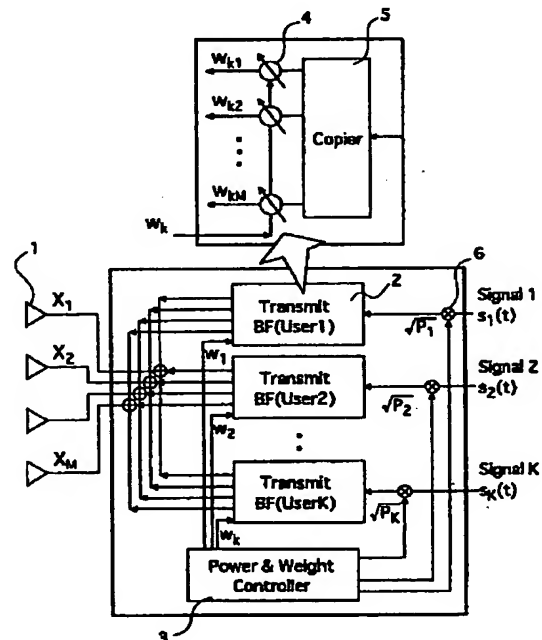
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 無線送信装置および無線受信装置

(57) 【要約】

【課題】 より下りリンクに適したビーム形成を行い、ユーザ間の相互の信号干渉を抑圧する。

【解決手段】 SDMA方式の基地局、あるいは、CDMA基地局において、送信電力およびウェイト制御部3は、仮想上りリンクに基づくビーム形成アルゴリズムに従い、各ユーザごとに伝搬路情報に基づく相関行列を求め、その重み付け和による相関行列を用いてウェイト演算を行う。得られたウェイトを複数のアンテナ素子に対応する送信信号に乗算して、送信する。これにより、ユーザ間の相互の干渉を抑制する。また、要求品質が異なる場合にも対応することができる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 複数のアンテナを備え、複数のユーザに対して信号を送信する無線送信装置であって、前記複数のユーザの伝搬路情報に対応する複数の相関行列に関する重み付け和を行なった相関行列を用いて、前記複数のアンテナに供給する前記各ユーザに対する送信信号のウェイトを決定するウェイト決定手段を有することを特徴とする無線送信装置。

【請求項2】 複数のアンテナを備え、複数のユーザに対して信号を送信する無線送信装置であって、前記複数のユーザの伝搬路情報に対応する複数の相関行列に関する重み付け和を行なった相関行列を用いて、前記複数のアンテナに供給する前記各ユーザに対する送信信号のウェイトを決定するウェイト決定手段と、前記ウェイト決定手段により演算されたウェイトを用いて前記重み付け係数を更新する更新手段とを有し、前記ウェイト決定手段によるウェイト演算と前記更新手段による重み付け係数演算を繰返し実行することを特徴とする無線送信装置。

【請求項3】 複数のアンテナを備え、複数のユーザに対して信号を送信する無線送信装置であって、前記複数のユーザの伝搬路情報とユーザ間の符号相関を利用して複数の相関行列を計算し、前記複数の相関行列に対する重み付け和を行なった相関行列を用いて、前記複数のアンテナに供給する前記各ユーザに対する送信信号のウェイトを決定するウェイト決定手段を有することを特徴とする無線送信装置。

【請求項4】 複数のアンテナを備え、複数のユーザに対して信号を送信する無線送信装置であって、前記複数のユーザの伝搬路情報とユーザ間の符号相関を利用して複数の相関行列を計算し、前記複数の相関行列に対する重み付け和を行なった相関行列を用いて、前記複数のアンテナに供給する前記各ユーザに対する送信信号のウェイトを決定するウェイト決定手段と、前記ウェイト決定手段により演算されたウェイトを用いて前記重み付け係数を更新する更新手段とを有し、前記ウェイト決定手段によるウェイト演算と前記更新手段による重み付け係数演算を繰返し実行することを特徴とする無線送信装置。

【請求項5】 前記ウェイト決定手段は、特に直交符号の符号間相関を利用するものであることを特徴とする請求項1～4のいずれかに記載の無線送信装置。

【請求項6】 前記ウェイト決定手段は、送信局で得られる逆方向信号の受信信号から前記複数のユーザの応答ベクトル及び相関行列を推定し、前記複数のアンテナに供給する前記各ユーザに対する送信信号の送信ウェイトを決定することを特徴とする請求項1～4のいずれかに記載の無線送信装置。

【請求項7】 前記ウェイト決定手段は、前記各ユーザの受信局が、送信局が送信する既知信号を利用して行う

伝搬路推定結果を利用して、前記複数のアンテナに供給する前記各ユーザに対する送信信号の送信ウェイトを決定することを特徴とする請求項1～4のいずれかに記載の無線送信装置。

【請求項8】 前記ウェイト決定手段は、前記複数のユーザの要求するSINRに基づいて、前記複数のアンテナに供給する前記各ユーザに対する送信信号の送信ウェイトを決定することを特徴とする請求項1～4のいずれかに記載の無線送信装置。

【請求項9】 前記ウェイト決定手段は、前記各ユーザの受信機におけるRAKEフィンガ数に基づいて、前記複数のアンテナに供給する前記各ユーザに対する送信信号の送信ウェイトを決定することを特徴とする請求項1～4のいずれかに記載の無線送信装置。

【請求項10】 前記ウェイト決定手段による送信ウェイトの決定と同時に、前記複数のユーザと送信局の間で各ユーザの受信SINRが必要とされるSINRと一致するよう送信電力値を調整する手段を有することにより、送信局からの送信電力を低減することを特徴とする請求項1～9のいずれかに記載の無線送信装置。

【請求項11】 送信局において時間遅延を有する希望信号の重ね合わせにより生成された信号の送信を行なうことを特徴とする請求項7あるいは8に記載の無線送信装置。

【請求項12】 複数のアンテナを備え、複数のユーザに対して信号を送信する無線送信装置であって、仮想的に前記複数のユーザから信号を受信する状態を想定し、該想定に基づいて前記複数のアンテナに供給する前記各ユーザに対する送信信号のウェイトを決定するウェイト決定手段を有することを特徴とする無線送信装置。

【請求項13】 複数のアンテナを備え、複数のユーザに対して信号を送信する無線送信装置であって、前記複数のユーザの伝搬路情報に対応する複数の相関行列に関する重み付け和を行なった相関行列と、当該ユーザの伝搬路情報に対応する相関行列とに対する一般固有値を用いて、前記複数のアンテナに供給する前記各ユーザに対する送信信号のウェイトを決定するウェイト決定手段を有することを特徴とする無線送信装置。

【請求項14】 複数のアンテナを備え、複数のユーザからの信号を受信する無線受信装置であって、前記複数のユーザの伝搬路情報とユーザ間の符号相関を利用して複数の相関行列を計算し、各ユーザのRAKE合成後の受信SINRが必要とするSINR以上であり、かつ、送信局の総送信電力が最小となるように求めたウェイトを、前記複数のユーザからの信号受信時における受信ウェイトとして用いることを特徴とする無線受信装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、複数の移動局が同一周波数を用いて同時に基地局と通信を行う無線通信システムに関するものであり、特に複数のユーザに対して信号を送信する無線送信装置および複数のユーザからの信号を受信する無線受信装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年の移動通信に対する需要の増加に伴い、多くのユーザを収容できる無線通信システムの構築が求められている。現在、1つの基地局では、複数の周波数、時間スロットを用いて多くのユーザの信号を多重することにより、基地局内に多くのユーザを収容している。しかし、無線周波数事情の逼迫に伴い、最近では時間周波数領域でのユーザ多重のみならず、空間領域を利用したユーザ多重も検討され始めている。このような手法は、空間分割型多元接続方式（SDMA: space Division Multiple Access）と呼ばれており、1つの基地局内で複数の指向性ビームを用いて、異なる存在方向のユーザ信号を個々に受信する方式である。指向性ビームを形成されるにあたってはアダプティブアレーアンテナが用いられる場合が多い。アダプティブアレーアンテナ技術も実用段階に迫りつつある現在において、SDMA方式への期待は高まりつつある。

【0003】また、CDMA（Code Division Multiple Access）方式は第3世代移動通信における導入が予定されており、より収容能力の高いシステム構成が求められている。その一環としてCDMA基地局ではアダプティブアレーの導入が検討されている。基地局用アダプティブアレーでは、自信号に対してビームを向けると同時に干渉ユーザに対する指向性を抑圧する。CDMA方式では多くの干渉ユーザが存在するため、全ての干渉信号にヌルを形成することはできないが、可能な限り干渉信号の低減をはかる。このようなビーム形成をユーザごとに行なうことによって高性能な基地局構成が可能となる。

【0004】まず、SDMA方式について説明する。SDMA方式を実現するにあたっては、基地局のサービスエリア内（セル）の移動局と基地局との間でアダプティブアレーを利用しつつ回線を確保する必要が生じる。以下では、従来技術における基地局でのアダプティブアレー形成法について述べる。図12はSDMA方式上りリンクにおける基地局構成である。ここで、1は基地局アンテナ、40は相関行列演算部、41はウエイト演算部を表す。図13は、前記基地局アンテナ1の詳細を表す図であり、この図に示すように、前記基地局アンテナ1は、1a～1dで示す複数のアンテナ素子によって構成されている。また、このようなアンテナ素子によって受信された受信信号は応答ベクトル $a$ として次式のように表現される。

【数1】

$$a_k = [a_{k1} \ a_{k2} \ a_{k3} \ a_{k4}]^T$$

ここで、 $a_{k1}$ 、 $a_{k2}$ 、 $a_{k3}$ 、 $a_{k4}$ はそれぞれ各アンテナ素子1a～1dで受信した際の信号の伝搬係数を表している。SDMA方式では、1つの周波数を複数のユーザで同時に用いる。基地局では複数のユーザから信号を受信するが、その際には各ユーザが信号伝送に先だって個別の既知信号を送信する。基地局では各ユーザの既知信号をアンテナごとに整合フィルタを用いて検出し、その結果を伝搬係数として用いる。ここでは、ユーザ数を $K$ とし、 $K$ ユーザの応答ベクトルをそれぞれ $a_1, \dots, a_K$ として表す。

【0005】また、基地局では相関行列演算部40において相関行列 $\Phi$ の計算を行なう。相関行列 $\Phi$ の $(i, j)$ 項は次式で表される。

【数2】

$$\Phi(i, j) = E[x_i^* \times x_j]$$

ここで、 $*$ は複素共役、 $E(\ )$ は平均、 $x_i$ 、 $x_j$ はそれぞれ $i$ 、 $j$ 番目のアンテナ素子の複素振幅を表している。従って、基地局では素子間の相関を計測することにより、相関行列 $\Phi$ を得ることができる。

【0006】このように計算された相関行列 $\Phi$ と応答ベクトル $a_k$ を用いると、ユーザ $k$ のアダプティブアレーウエイトベクトル $w_k$ は、

【数3】

$$w_k = \Phi_k^{-1} \cdot a_k$$

と表すことができる。本ウエイトベクトルは合成出力の信号品質を最も良くする値であることが知られており、理論的に最適なウエイトベクトルといえる。

【0007】基地局では、ウエイト演算部41において各ユーザに対してウエイト $w_k$ を求め、アンテナ間で信号合成を行なう。このような信号処理の結果、各ユーザに対してそれぞれビーム形成が行なわれる。図14は空間的に各ユーザが複数ビームによって分離されていることを表す図である。10は基地局、12は移動局、25は指向性ビームを表している。本図に示されるようにビームは希望信号を強く受信し、干渉信号を抑圧する。このような構成により、基地局では多くのユーザを収容することが可能となる。

【0008】一方、下りリンクでは通常上りリンクで得られたウエイトを用いて信号送信を行なう。この様子を図15に示す。図中、2は送信ウエイト乗算部、3は送信ウエイト制御部、4はウエイト乗算器、5は信号コピー器である。下りリンクでは、各ユーザごとに信号に対するウエイト乗算が送信ウエイト乗算部2において行なわれ、全ユーザの信号が同時に基地局から送信される。この際、ウエイト乗算を行なうにあたっては、上りリンクで求められたアダプティブアレーのウエイトが用いられる。具体的には、上りリンクウエイトは基地局内で $\Phi$

モリに格納され、下りリンクで信号送信を行なう際には、格納されたウェイトデータを用いて送信ウェイト乗算部2においてアンテナごとに乗算が行なわれる。このような構成により、下りリンクでは上りリンクと同一のビーム形成を行う手法が用いられている（例えば、T. Ohgane, "Spectral efficiency improvement by base station antenna pattern control for land mobile cellular systems," IEICE Trans. Commun., vol. E77-B, no. 5, pp. 598-605, May 1994.）。

【0009】次に、前記CDMA基地局用アダプティブアレーについて説明する。まず、現在までに提案されている上りリンクにおけるCDMA基地局用アダプティブアレーの方式について説明を行なう。図16は上りリンクにおけるCDMA基地局用アダプティブアレーの構成図であり、図中1は基地局アンテナ、50は各ユーザごとのアダプティブアレー信号処理部を表している。図17はユーザkのアダプティブアレー信号処理部の詳細を示す図であり、図中51、52はチップ時間間隔の遅延器、53は逆拡散器、54はウェイト乗算器、55～57は各遅延パスに対応するアダプティブアレー信号処理部、58はアンテナ間信号合成器、59は遅延パス合成器であり、通常遅延パス合成器53の操作はRAKE合成と呼ばれる。また、60はアダプティブアレーウェイト計算部である。

【0010】図16及び図17に示されるように従来方式では、複数アンテナで受信された信号に対し各ユーザごとにアダプティブアレー信号処理部を構成する。アダプティブアレー信号処理部では、MMSE基準に基づきウェイト決定が行なわれる。具体的には、ユーザkパス1に関するアンテナmでのq番目の逆拡散シンボルを $y_{k1m}(q)$ 、ユーザkパス1に関する信号ベクトルを $Y_{k1}(q)=[y_{k11}(q), y_{k12}(q), \dots, y_{k1M}(q)]^T$ とすると、ユーザkパス1に関するアダプティブアレーの合成ウェイト $w'_{k1}=[w'_{k11}, w'_{k12}, \dots, w'_{k1M}]^T$ は次式で表される。

【数4】

$$\begin{aligned} w'_{k1} &= \Phi_{k1}^{-1} v_{k1} \\ \Phi_{k1} &= \frac{1}{q_0} \sum_{q=1}^{q_0} Y_{k1}(q) Y_{k1}(q)^H \\ v_{k1} &= \frac{1}{q_0} \sum_{q=1}^{q_0} Y_{k1}(q) r_{k1}(q)^* \end{aligned}$$

ここで、 $\Phi_{k1}$ はユーザkのパス1に関する逆拡散信号の相関行列、 $v_{k1}$ はユーザk、パス1の相関ベクトル、 $q_0$ は演算アルゴリズムの平均化シンボル数、 $r_{k1}(q)$ はユーザk、パス1の参照シンボル、 $*$ は複素共役、 $H$ は共役転置を表す。この演算を各ユーザ、各パスごとに行なうことによりアダプティブアレーのウェイトを決定することができる。

【0011】次に、下りリンクにおけるCDMA基地局用アダプティブアレーの構成について説明する。CDMA下りリンクでは、基地局において他ユーザへの干渉を抑えつつ、希望ユーザへのビームを形成することによって、各ユーザの受信信号品質を改善することが可能となる。また、この改善効果を利用すれば基地局でのユーザ収容能力を向上することも可能になる。

【0012】図18に基地局送信アダプティブアレーの構成を示す。基地局では上りリンクと同一のK人のユーザに信号を送信するものとし、各ユーザへの送信用拡散信号 $s_k(t)=c_k(t) \cdot d_k(t)$ が用意される。ここで、 $c_k(t)$ 、 $d_k(t)$ はそれぞれ拡散符号、データであり、それぞれチップ時間 $T_c$ 、シンボル時間 $T_d$ ごとに値が変化する。また、 $E[\cdot]$ をアンサンブル平均とすると、 $E[|c_k(t)|^2]=E[|d_k(t)|^2]=1$ である。基地局では、この送信用拡散信号をアンテナM個分にコピーし、各プランチごとにウェイト乗算を行なった後アンテナから信号送信する。

【0013】ユーザkのアンテナmにおけるウェイト係数を $w_{km}$ 、ユーザkの下りリンクウェイトを $w_k=[w_{k1}, \dots, w_{kM}]^T$ とすると、従来方式ではウェイト $w_k$ は次式で与えられる（例：原田、田中、井原、佐和橋、安達、"W-CDMA下りリンクにおける適応アンテナアレイ送信ダイバーシチの屋外実験結果、"電子情報通信学会無線通信システム(RCS)研究、RCS99-157、Nov. 1999）。

【数5】

$$w_k = w'_{k1}$$

すなわち、上りリンクで得られたウェイトを用いて下りリンクビーム形成が行なわれている。図19は、下りリンクアダプティブアレーの利用環境の一例を示す図であり、図中60は移動局、61は基地局を表す。この図に見られるように、下りリンクビーム形成では各ユーザに対してビーム形成が行なわれ、他ユーザに対する干渉を低く抑えることが求められる。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】上述のように、SDMA方式下りリンク、および、CDMA方式の基地局用アダプティブアレーのいずれにおいても、基地局において他のユーザへの干渉を抑えつつ、希望ユーザへ信号を送信するビーム形成が必要となる。このようなビーム形成によって、1つの基地局においても複数ユーザを同時に収容することが可能となり、基地局での収容能力の向上が見込まれる。このような状況に対し、従来方式は、いずれも、下りリンクにおいて上りリンクと同一のビーム形成を行っていた。しかしながら、上りリンク用のウェイトが下りリンクにおいて必ずしもよいビーム形成をするとは限らない。特に、上下リンクでユーザの通信データ量が異なる場合には、上下リンクのそれぞれにおいて、異なるビーム形成が必要とされる場合も考えられ

る。また、上下リンクでデータ送信量が同じ場合であっても、上りリンクのビーム形成法が下りリンクにおいて必ずしもよいとは限らない。さらに、下りリンクでは高速データ通信環境が想定される。そこでは、データ通信の増加に伴い、ユーザごとに要求通信品質は大きく異なる場合も想定される。各ユーザの要求SINRにも差が生じ、上下リンクでは非対称トラヒック環境が予想される。このような環境においてユーザの要求通信品質を満たしつつ、なおかつ相互干渉を抑えることが必要とされる。

【0015】このように、下りリンクにおける基地局ビーム形成法では、ユーザ相互の干渉を低減し、多くのユーザを収容できるビーム形成を行うことが課題となっている。また、下りリンクのビーム形成法によって基地局では収容できるユーザ数に差が生じるため、従来方式よりもさらに適したビーム形成を行うことが課題となっている。そこで、本発明は、送信局からの送信信号においてユーザ相互の干渉を減らすことができ、収容ユーザ数を向上させることのできる、SDMA方式の下りリンク、あるいは、CDMA方式用基地局アダプティブアレーにおける無線送信装置を提供することを目的としている。さらに、ユーザ相互の干渉を減らすことのできるCDMA方式用の無線受信装置を提供することを目的としている。

#### 【0016】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明の無線送信装置は、複数のアンテナを備え、複数のユーザに対して信号を送信する無線送信装置であって、前記複数のユーザの伝搬路情報に対応する複数の相関行列に関する重み付け和を行なった相関行列を用いて、前記複数のアンテナに供給する前記各ユーザに対する送信信号のウエイトを決定するウエイト決定手段を有するものである。また、本発明の他の無線送信装置は、複数のアンテナを備え、複数のユーザに対して信号を送信する無線送信装置であって、前記複数のユーザの伝搬路情報に対応する複数の相関行列に関する重み付け和を行なった相関行列を用いて、前記複数のアンテナに供給する前記各ユーザに対する送信信号のウエイトを決定するウエイト決定手段と、前記ウエイト決定手段により演算されたウエイトを用いて前記重み付け係数を更新する更新手段とを有し、前記ウエイト決定手段によるウエイト演算と前記更新手段による重み付け係数演算を繰返し実行するものである。

【0017】さらに、本発明のさらに他の無線送信装置は、複数のアンテナを備え、複数のユーザに対して信号を送信する無線送信装置であって、前記複数のユーザの伝搬路情報とユーザ間の符号相関を利用して複数の相関行列を計算し、前記複数の相関行列に対する重み付け和を行なった相関行列を用いて、前記複数のアンテナに供給する前記各ユーザに対する送信信号のウエイトを決定

するウエイト決定手段を有するものである。さらにまた、本発明のさらに他の無線送信装置は、複数のアンテナを備え、複数のユーザに対して信号を送信する無線送信装置であって、前記複数のユーザの伝搬路情報とユーザ間の符号相関を利用して複数の相関行列を計算し、前記複数の相関行列に対する重み付け和を行なった相関行列を用いて、前記複数のアンテナに供給する前記各ユーザに対する送信信号のウエイトを決定するウエイト決定手段と、前記ウエイト決定手段により演算されたウエイトを用いて前記重み付け係数を更新する更新手段とを有し、前記ウエイト決定手段によるウエイト演算と前記更新手段による重み付け係数演算を繰返し実行するものである。

【0018】さらにまた、前記ウエイト決定手段は、特に直交符号の符号間相関を利用するものである。さらにまた、前記ウエイト決定手段は、送信局で得られる逆方向信号の受信信号から前記複数のユーザの応答ベクトル及び相関行列を推定し、前記複数のアンテナに供給する前記各ユーザに対する送信信号の送信ウエイトを決定するものである。さらにまた、前記ウエイト決定手段は、前記各ユーザの受信局が、送信局が送信する既知信号を利用して行う伝搬路推定結果を利用して、前記複数のアンテナに供給する前記各ユーザに対する送信信号の送信ウエイトを決定するものである。さらにまた、前記ウエイト決定手段は、前記複数のユーザの要求するSINRに基づいて、前記複数のアンテナに供給する前記各ユーザに対する送信信号の送信ウエイトを決定するものである。さらにまた、前記ウエイト決定手段は、前記各ユーザの受信機におけるRAKEフィンガ数に基づいて、前記複数のアンテナに供給する前記各ユーザに対する送信信号の送信ウエイトを決定するものである。さらにまた、前記ウエイト決定手段による送信ウエイトの決定と同時に、前記複数のユーザと送信局の間で各ユーザの受信SINRが必要とされるSINRと一致するよう送信電力値を調整する手段を有することにより、送信局からの送信電力を低減するものである。さらにまた、送信局において時間遅延を有する希望信号の重ね合わせにより生成された信号の送信を行なうようになされているものである。

【0019】さらにまた、本発明のさらに他の無線送信装置は、複数のアンテナを備え、複数のユーザに対して信号を送信する無線送信装置であって、仮想的に前記複数のユーザから信号を受信する状態を想定し、該想定に基づいて前記複数のアンテナに供給する前記各ユーザに対する送信信号のウエイトを決定するウエイト決定手段を有するものである。さらにまた、本発明のさらに他の無線送信装置は、前記複数のユーザの伝搬路情報に対応する複数の相関行列に関する重み付け和を行なった相関行列と、当該ユーザの伝搬路情報に対応する相関行列とに対する一般固有値を用いて、前記複数のアンテナに供給

する前記各ユーザに対する送信信号のウエイトを決定するウエイト決定手段を有するものである。さらにまた、本発明の無線受信装置は、複数のアンテナを備え、複数のユーザからの信号を受信する無線受信装置であって、前記複数のユーザの伝搬路情報とユーザ間の符号相関を利用して複数の相関行列を計算し、各ユーザのRAKE合成後の受信SINRが必要とするSINR以上であり、かつ、送信局の総送信電力が最小となるように求めたウエイトを、前記複数のユーザからの信号受信時における受信ウエイトとして用いるものである。

【0020】

【発明の実施の形態】まず、前記SDMA方式の下りリンクに関する本発明の各実施の形態について説明する。

(実施の形態1) 図1はSDMA方式の下りリンクに関する本発明の概要を説明する最も基本的な基地局構成を示している。図中、1は基地局アンテナ、2は送信ウエイト乗算器、3は送信電力及びウエイト制御部、4はウエイト乗算器、5は信号コピー器、6は電力変換器を表す。ここで、前記基地局アンテナ1は、図示するように複数M個のアンテナ素子から構成されている。また、前記送信ウエイト乗算器2は、各ユーザ対応に設けられており、各送信ウエイト乗算器2は、図示するように、信号コピー器5と複数個のウエイト乗算器4を有している。以下では、図1に基地局における信号処理構成につ

いて説明する。基地局では上りリンクと同一のKユーザに信号を送信するものとし、ユーザk ( $k=1, \dots, K$ ) への信号 $s_k(t)$ を用意する。ここで、 $E[\cdot]$ をアンサンブル平均とすると $E[|s_k(t)|^2]=1$ である。基地局では、ユーザkの信号に対して電力変換器6において $\sqrt{P_k}$ の乗算を行い、信号電力を $P_k$ に変換する。電力変換された信号は信号コピー器5においてアンテナ数M個分にコピーされ、送信ウエイト乗算器4において各ブランチごとにウエイト乗算が行なわれた後、アンテナ1から送信される。

【0021】本構成において、各ユーザの送信電力 $P_k$ 及びウエイト $w_k$ は送信電力兼ウエイト制御部3において一括に制御される。すなわち、送信電力兼ウエイト制御部3では各ユーザの通信品質、信号到来方向等を考慮した上で、全ユーザの $P_k$ 及び $w_k$ を一括して決定する。この際、他セルへの干渉及び他ユーザへの干渉を抑えつつ各ユーザの要求受信品質を満たす $P_k$ 及び $w_k$ の決定が重要な課題となる。

【0022】次に、移動局kから基地局Mアンテナへの伝搬路について述べる。ここでは、移動局kから基地局Mアンテナへのインパルス応答 $h_k(t)$ を次式のL波モデルで表す。

【数6】

$$h_k(t) = \sum_{l=1}^L a_{k,l} \delta(t - (l-1)T_d) \quad (式1)$$

$$a_{k,l} = \rho_{k,l} u_{k,l}$$

$$u_{k,l} = [1, e^{j\epsilon_{k,l,2}}, e^{j\epsilon_{k,l,3}}, \dots, e^{j\epsilon_{k,l,M}}]^T$$

ここで、 $T_d$ はシンボル時間、 $a_{k,l}$ はパスlの伝搬ベクトル、 $u_{k,l}$ は規格化伝搬ベクトル、 $\rho_{k,l}$ はユーザk、パスlのアンテナ1における複素伝搬係数、 $\epsilon_{k,l,m}$ はユーザkパスlにおけるアンテナmのアンテナ1に対する相対位相を表す。なお、遅延波 ( $l \geq 2$ ) はシンボル間干渉 (ISI: Intersymbol Interference) の要因となる。

【0023】次に、下りリンクにおいて各移動局が受信時に必要とする信号電力対干渉雑音電力比 (SINR: Signal-to-interference-plus-noise ratio) について述べる。下りリンクにおけるユーザkの必要SINRを $\gamma_k$ とする。マルチメディア通信では通信データに応じてさまざまなBER及び伝送速度が要求される。伝送速度に応じて変調方式が選定され、要求BERから必要SINRが決定される。従って、必要SINRは通信ごとにさまざまな値となる。ここでは、移動局kの要求する必要SINRを $\gamma_k$ と表す。

【0024】このような状況において、基地局では各ユーザの要求SINRを満たしつつ、送信電力を最小とするビーム形成を行うことが求められる。送信電力の低下

は他セルへの干渉を低減する。また自セルにおいても基地局の送信電力が最大値に達するまでに多くのユーザの収容が可能となる。

【0025】ここでは、まず送信局では送信ウエイトを決定するにあたって、送信局内で「仮想上りリンク」を考える。ここで、「仮想上りリンク」とは送信局内での仮想的なものであり、最終的にはあとで示す(Algorithm A)を実行することになる。仮想上りリンクで計算されたウエイトは下りリンク送信ウエイトとして用いられる。以下では、「仮想上りリンク」の内容について述べる。

【0026】図2に「仮想上りリンク」の構成を示す。図中、10は基地局、11は伝搬路、12は移動局を表す。「仮想上りリンク」では、ユーザk (12) が伝搬路 (11)  $h_k(t)$  において電力 $\hat{P}_k$ で信号送信する仮想上りリンクを想定する。(なお、式中で、文字の上に $\hat{\cdot}$ が付された記号を文中では、 $\hat{\cdot}$ で表すこととする。)

また、基地局は図3の構成に従い、M個のアンテナを用いて信号受信する状態を想定する。ここで、20は信号



合成器、21はウエイト制御部、22はウエイト乗算器、23はウエイトを表す。ユーザ $k$ のアンテナ $m$ における受信ウエイト係数を $w_{k,n}$ とすると、ユーザ $k$ の受信信号は各アンテナの信号をウエイト $w_k=[w_{k,1}, \dots, w_{k,n}]^T$ で合成することにより求められる。ただし、 $w_k$ は $w_k^H u_{k,1} = 1$ を満たすウエイトである。

$$J_1 = \sum_{k=1}^K \hat{P}_k \rightarrow \min \quad (式2)$$

subject to  $\hat{\Gamma}_k \geq \gamma_k$

ここで、 $J_1$ はユーザの総送信電力、 $\hat{\Gamma}_k$ は基地局におけるユーザ $k$ の受信信号SINRを表す。この最適化条件は基地局でのMVDR (Minimum Variance Distortionless Response) ウエイト制御と各ユーザの送信電力制御の繰返しにより達成できる。すなわち、基地局ではある送信電力状態のもとでユーザごとにMVDRウエイトを決定する。次に、各ユーザの信号品質が必要SINR $\gamma_k$ に近づくようユーザの送信電力の変更を行なう。送信電力の変更を行なうと、基地局では再びMVD

【0027】仮想上りリンクでは各ユーザが必要SINR $\gamma_k$ を満たし、なおかつ全ユーザの送信電力を最小とする以下の最適化が行なわれる。すなわち、最適化条件(0p.1)は次式で与えられる。  
【数7】

Rウエイトの決定を行なう。この繰返し制御により最終的には(式2)の最適状態が達成できる。

【0028】以下では、評価関数 $J_1$ を最小化を達成するためにウエイトに課せられる条件について述べる。状態 $n$ において各ユーザ12が伝搬路(11) $h_k(t)$ において信号電力 $\hat{P}_k^{(n)}$ で信号送信しているとする。このとき、基地局におけるユーザ $k$ のMVDRウエイト $w_k^{(n)}$ は次式で与えられる。  
【数8】

$$w_k^{(n)} = \frac{\Phi^{(n)-1} u_{k,1}}{u_{k,1}^H \Phi^{(n)-1} u_{k,1}} \quad (式3)$$

$$\Phi^{(n)} = \sum_{i=1}^K \sum_{l=1}^L \hat{P}_i^{(n)} a_{i,l} a_{i,l}^H + I$$

ここで、 $I$ は単位ベクトルを表す。

【0029】ウエイト $w_k^{(n)}$ によって合成信号が得られると、基地局における希望信号電力 $S_k^{(n)}$ 及び干渉雑音

$$S_k^{(n)} = \hat{P}_k^{(n)} |\rho_{k,1}|^2$$

$$I_k^{(n)} = \sum_{i \neq k} \hat{P}_i^{(n)} |\rho_{i,1}|^2 w_k^{(n)H} \Omega_i w_k^{(n)} + \hat{P}_k^{(n)} |\rho_{k,1}|^2 w_k^{(n)H} \Omega'_k w_k^{(n)} + P_N |w_k^{(n)}|^2$$

$$\Omega_k = \sum_{l=1}^L \frac{|\rho_{k,l}|^2}{|\rho_{k,1}|^2} u_{k,l} u_{k,l}^H$$

$$\Omega'_k = \sum_{l=2}^L \frac{|\rho_{k,l}|^2}{|\rho_{k,1}|^2} u_{k,l} u_{k,l}^H$$

【0030】次に、「仮想上りリンク」ではこの受信信号を基準として各ユーザが上りリンク送信電力制御を行なう。以下では、この上りリンク送信電力制御について述べる。上りリンク送信電力制御ではユーザ $k$ の状態 $n$

$$\hat{P}_k^{(n+1)} = \hat{P}_k^{(n)} \gamma_k (I_k^{(n)} / S_k^{(n)})$$

$$= \gamma_k I_k^{(n)} / |\rho_{k,1}|^2 \quad (式4)$$

すなわち、この送信電力制御では状態 $n$ での受信SINRと必要SINRの差分に応じて信号電力の変更を行なう。この送信電力制御は全ユーザに対して同時に行なわ

電力 $I_k^{(n)}$ はそれぞれ次式で表される。  
【数9】

+1における送信電力 $\hat{P}_k^{(n+1)}$ を以下のように決定する。  
【数10】

れる。従って、状態 $n+1$ でのユーザの送信電力を行列形式で表すと次式が成り立つ。  
【数11】

$$Q^{(n+1)} = DF^{(n)}Q^{(n)} + N^{(n)} \quad (式5)$$

$$D = \text{diag}[\gamma_1, \dots, \gamma_K]$$

$$Q^{(n)} = [\hat{P}_1^{(n)}|\rho_{1,1}|^2, \dots, \hat{P}_K^{(n)}|\rho_{K,1}|^2]^T$$

$$N^{(n)} = [\gamma_1 \|w_1^{(n)}\|^2, \dots, \gamma_K \|w_K^{(n)}\|^2]^T$$

$$[F^{(n)}]_{p,q} = \begin{cases} w_p^{(n)H} \Omega_q w_p^{(n)} & \text{if } p = q \\ w_p^{(n)H} \Omega_q w_p^{(n)} & \text{if } p \neq q \end{cases}$$

ここで、 $Q^{(n)}$ は $Q_k^{(n)} = \hat{P}_k^{(n)}|\rho_{k,1}|^2$ を要素に持つベクトルである。結局、ウエイト更新(式3)と送信電力制御(式5)の繰返しにより、最適条件が達成できる。

【0031】以上の手続きを繰返して行なうことにより、送信ウエイトを求めることができる。もう一度、ウエイト演算アルゴリズムを書きなおすと以下のようになる。

[Algorithm A]

1) 信号電力の初期値 $Q_k^{(1)}$  ( $k=1, \dots, K$ )を設定する。

2)  $k=1, \dots, K$ に対して次式のウエイトを求める

[数12]

$$w_k^{(n)} = \frac{\Phi^{(n)-1} u_{k,1}}{u_{k,1}^H \Phi^{(n)-1} u_{k,1}}$$

$$\Phi^{(n)} = \sum_{i=1}^K Q_i^{(n)} \Omega_i + I$$

3) ベクトル $Q^{(n+1)}$ を求める

[数13]

$$Q^{(n+1)} = DF^{(n)}Q^{(n)} + N^{(n)}$$

$n$ に1をたして再び制御2)に戻り、収束するまで制御2)及び制御3)を $n$ 回繰返す。

【0032】本制御において任意の初期値 $Q_k^{(1)}$  ( $k=1, \dots, K$ )を設定可能である。また、[Algorithm A]では $\Omega_i$ と $u_{k,1}$ が与えられれば、ウエイト $w_k^{(n)}$ の演算を行なうことができる。この過程において、 $|\rho_{k,1}|^2$ の絶対的な値は必要とされない。このような手法により、 $J_1$ を最小とするウエイトを「仮想上りリンク」で求めることができる。

【0033】また、[Algorithm A]では、2)において各ユーザの相関行列 $\Omega_i$ に対する重み付け和を行なった相関行列 $\Phi^{(n)}$ を用いてウエイトを求め、3)において重み付け係数 $Q^{(n)}$ の更新をウエイトをもとに行なう。その結果を用いて、再び2)ではウエイト演算を行なう。このように、ウエイトと重み付け係数の更新を交互に行なうアルゴリズムとなっている。

【0034】図1の下りリンクビーム形成では「仮想上

りリンク」で求められた各ユーザのウエイトを用いてビーム形成を行う。このようなビーム形成法により、基地局では下りリンクにおける各ユーザの要求SINRを考慮したビーム形成が可能となる。また、「仮想上りリンク」において最適化を達成するウエイトを下りリンクにおいて用いると、実際の下りリンクにおいてもユーザ相互に与える干渉を減らすことが可能となる。

【0035】(実施の形態2)上記実施の形態1では、下りリンクにおけるビーム形成のみを扱った。これに対して、本実施の形態では、下りリンクでビーム形成すると同時に送信電力制御を行なう。図4に下りリンク送信電力制御の概念を示す。図中24は移動局から基地局への伝搬係数情報の送信チャネル、25は下りリンクビームパターンを示す。以下では、図4を参照しつつ、本実施の形態で用いる下りリンク閉ループ送信電力制御について説明する。

【0036】実施の形態1の手法に従って、下りリンクビーム形成25が行なわれると、各ユーザに対して一定の電力でまず信号が送信される。各移動局12では受信SINRと必要SINRの比 $\alpha_k$ を求め、基地局にチャネル24を用いて送信する。閉ループ送信電力制御の状態 $n$ における $\alpha_k$ 値を $\alpha_k^{(n)}$ とすると、基地局では $\alpha_k^{(n)}$ に基づいてユーザ $k$ への送信電力を前回の $\alpha_k^{(n)}$ 倍に設定する。送信電力の変更は全ユーザに対して同時に行なわれるため、1回の送信電力の変更では受信SINRと必要SINRは一致しない。しかし、この制御を複数回繰返すことにより、受信SINRを要求SINRと一致させることができる。このような送信電力制御法を用いることにより、各ユーザの受信SINRを要求SINRと等しくすることが可能となる。また、実施の形態1の下りリンクビーム形成法とあわせて用いると、基地局から各ユーザへの送信電力の総和を小さく抑えることが可能となる。従って、基地局では送信電力の低い状態が実現され、他のセルへの干渉電力も従来方式で閉ループ送信電力制御を用いる場合に比べてより低く抑えることが可能となる。

【0037】なお、ここでは下りリンクビーム形成が完了した後に閉ループ送信電力制御を行なった。しかし、その他に下りリンクビーム形成を行いながら、送信電力制御を行なう構成も可能である。具体的には、[Algorit

hm A)において2)及び3)の操作を1回行なうと同時に閉ループ送信電力制御の状態nを1回更新する。このように、ウエイト制御と送信電力制御を交互に行なう構成も可能である。また、[Algorithm A]を複数回行なう間に送信電力制御を1回行なう構成も可能である。

【0038】(実施の形態3)前記実施の形態1では、全ての伝搬路パラメータが既知であるものとして、下りリンクビーム形成を行った。これに対して、本実施の形態では、同一周波数において時間的に上下リンク交互に伝送を行なうTDD (Time Division Duplex) 型通信において、上りリンクの受信信号情報を用いて下りリンクビーム形成を行う。図5に本実施の形態において上りリンク受信信号情報を得るための基地局構成図を示す。図中、30は各ユーザに対応する整合フィルタ部、31はデジタルフィルタを表す。以下では、上りリンクの受信信号を用いて、下りリンクビーム形成用の伝搬路パラメータを計算する手法について説明する。

【0039】[Algorithm A]では、 $\Omega_k$ と $\Omega_k'$ を用いてウエイトを求めるが、 $\Omega_k$ と $\Omega_k'$ は $u_{k,1}$ 及び $\rho_{k,1}/\rho_{k,1}^2$ によって決定される値である。TDDシステムでは、上りリンクでのユーザkの受信信号から $u_{k,1}$ 及び $\rho_{k,1}/\rho_{k,1}^2$ を推定できる。具体的には、上りリンクにおいて基地局の各アンテナに各ユーザの既知信号に対応する整合フィルタ31を用意し、ユーザの信号を相関検出した場合の出力を $a_{k,1}$ とすると $u_{k,1}$ 及び $\rho_{k,1}/\rho_{k,1}^2$ はそれぞれ次式で与えられる。

【数14】

$$u_{k,1} = \left[ 1, \frac{a_{k,1,2}}{a_{k,1,1}}, \dots, \frac{a_{k,1,M}}{a_{k,1,1}} \right]^T$$

$$\left| \frac{\rho_{k,1}}{\rho_{k,1}^2} \right|^2 = \frac{|a_{k,1,1}|^2}{|a_{k,1,1}|^2}$$

【0040】この計算手法では電力比のみを用いているので、上りリンクでの送信電力制御時にも問題なく適用できる。従って、上りリンク受信信号を用いて $\Omega_k$ と $\Omega_k'$ を求め、[Algorithm A]から最適ウエイトを演算することにより下りリンク最適ビーム形成を行なうことができる。このように本実施の形態の下りリンクビーム形成法では、上りリンク受信信号の情報を用いて下りリンクビーム形成を行うことができる。また、下りリンクビーム形成後、実施の形態2の下りリンク送信電力制御を組合せて利用することも可能である。

【0041】(実施の形態4)前記実施の形態1では、全ての伝搬路パラメータが既知であるものとして、下りリンクビーム形成を行った。これに対して、本実施の形態では、基地局から送信される下りリンクパイロット信号を用いて移動局で伝搬路測定を行なう。各ユーザはその結果を基地局へ伝達し、その伝搬路情報を用いて下りリンクビーム形成を行う。図6に本実施の形態における

制御法の概念図を示す。図中、32は伝搬路情報を伝送するチャンネルを示す。

【0042】以下では、図6を参照しつつ本実施の形態における下りリンクパイロット信号を用いた伝搬路測定法について述べる。基地局ではM本のアンテナから既知信号を全ユーザに向けて送信する。この際、各アンテナでは異なるパターンの基地信号を用いて信号送信を行なう。各アンテナでの既知信号は互いに直交化された信号が用いられる場合もある。また、そうでない場合もある。

【0043】移動局では基地局からの既知信号を受信すると、基地局の各アンテナからの既知信号に対応する整合フィルタを用いて、各アンテナからの信号を相関検出する。移動局kのM個の整合フィルタからの相関検出される第1番目のパスの相関出力をそれぞれ $a_{k,1,1}, \dots, a_{k,1,M}$ とすると、ベクトル $a_{k,1} = [a_{k,1,1}, \dots, a_{k,1,M}]^T$ は基地局の各アンテナと移動局kとの間の伝搬ベクトルを表す。各移動局は測定した伝搬ベクトル $a_{k,1}$ を基地局へ通知し、実施の形態1における伝搬ベクトル $a_{k,1}$ に相当する値として利用する。従って、本実施の形態では下りリンクにおける基地局からのパイロット信号を利用して、各ユーザの伝搬ベクトルを求め、その結果をチャンネル32を用いて基地局に通知することにより、下りリンクウエイト決定を行なう。

【0044】前記実施の形態3ではTDD方式の場合に、基地局において上りリンク受信信号情報を用いる手法について述べた。これに対して、本実施の形態における手法では上りリンク受信信号情報を用いないため、TDD通信に限らずFDD (Frequency Division Duplex) などさまざまなタイプの通信で用いることができる。また、下りリンクビーム形成後、実施の形態2の送信電力制御を組合せて利用することも可能である。

【0045】(実施の形態5)本実施の形態では、前記実施の形態1において[Algorithm A]において決められた時間内に制御2)及び3)を1回のみ行なう。この場合には、初期値 $Q_k^{(1)}$ に完全に依存した送信ウエイトが制御2)において計算される。この場合、ウエイトは各ユーザの伝搬情報から得られる各ユーザの相関行列 $\Omega_k$ を初期値 $Q_k^{(1)}$ に関して重み付けした相関行列 $\Phi^{(1)}$ を用いてウエイト決定される。従って、適切な初期値 $Q_k^{(1)}$ を設定すれば、1回のみウエイト演算を行なうことにより、送信ウエイトを求めることも可能となる。この場合には、ウエイト更新を行わないため、演算量を少なくすることが可能となる。また、所定の重要度に応じて初期値 $Q_k^{(1)}$ を設定することにより、ユーザの重要度に応じたビーム形成が可能となる。

【0046】次に、CDMA方式の基地局用アダプティブアレーに関する本発明の各実施の形態について説明する。

(実施の形態6)図7は本発明のCDMA方式の基地局

用アダプティブアレーに関する実施の形態の概要を説明する最も基本的な基地局構成を示している。図中、1は基地局アンテナ、2は送信ウエイト乗算器、3は送信電力及びウエイト制御部、4はウエイト乗算器、5は信号コピー器、6は電力変換器を表す。以下では、図7に基地局における信号処理構成について説明する。基地局では上りリンクと同一のKユーザに信号を送信するものとし、ユーザ $k$  ( $k=1, \dots, K$ )への拡散信号 $s_k(t) = c_k(t) \cdot d_k(t)$ を用意する。ここで、 $E[\cdot]$ をアンサンブル平均とすると $E[|s_k(t)|^2] = 1$ である。基地局では、ユーザ $k$ の信号に対して電力変換器6において $\sqrt{P_k}$ の乗算を行い、信号電力を $P_k$ に変換する。電力変換された信号は信号コピー器5においてアンテナ数 $M$ 個分にコピーされ、送信ウエイト乗算器4において各ブランチごとにウエイト乗算が行なわれた後、アンテナ1から送信される。

【0047】本構成において、各ユーザの送信電力 $P_k$ 及びウエイト $w_k$ は送信電力兼ウエイト制御部3において一括に制御される。すなわち、送信電力兼ウエイト制御部3では各ユーザの通信品質、信号到来方向等を考慮した上で、全ユーザの $P_k$ 及び $w_k$ を一括して決定する。この際、他セルへ及び他ユーザへの干渉を抑えつつ各ユ

ーザの要求受信品質を満たす $P_k$ 及び $w_k$ の決定が重要な課題となる。

【0048】ここで、各ユーザの送信信号の関係について説明を行なう。送信信号はユーザ間でチップ同期及びシンボル同期を有する。また、拡散符号 $c_k(t)$ はシンボル時間 $T_d$ に等しい周期を有する直交符号であり、次式の関係を満たす。

【数15】

$$\frac{1}{G} \sum_{p=1}^G c_{k1}(pT_c) c_{k2}(pT_c) = \begin{cases} 1 & k1 = k2 \\ 0 & k1 \neq k2 \end{cases}$$

ここで、 $T_c$ はチップ時間、 $G = T_d / T_c$ は拡散利得、 $d_k(t)$ はデータであり $t = T_c, 2T_c, \dots, GT_c$ において一定値を取る。上式において、各ユーザの拡散符号は互いに直交関係にある。従って、遅延波が存在しない場合には互いに干渉は及ぼさない。

【0049】移動局 $k$ から基地局 $M$ アンテナへの伝搬路について述べる。ここでは、移動局 $k$ から基地局 $M$ アンテナへのインパルス応答 $h_k(t)$ を次式のL波モデルで表す。

【数16】

$$h_k(t) = \sum_{l=1}^L a_{k,l} \delta(t - (l-1)T_c) \quad (式6)$$

$$a_{k,l} = \rho_{k,l} u_{k,l}$$

$$u_{k,l} = [1, e^{j\phi_{k,l,1}}, e^{j\phi_{k,l,2}}, \dots, e^{j\phi_{k,l,M}}]^T$$

ここで、 $T_c$ はチップ時間、 $a_{k,l}$ はパス $l$ の伝搬ベクトル、 $u_{k,l}$ は規格化伝搬ベクトル、 $\rho_{k,l}$ はユーザ $k$ 、パス $l$ のアンテナ1における複素伝搬係数、 $\phi_{k,l,m}$ はユーザ $k$ 、パス $l$ におけるアンテナ $m$ のアンテナ1に対する相対位相を表す。なお、この(式6)と前記(式1)と比較すると、シンボル時間 $T_d$ に代えて、チップ時間 $T_c$ が用いられている点が相違している。

【0050】また、前述の場合と同様に、下りリンクにおけるユーザ $k$ の必要SINRを $\gamma_k$ とする。マルチメディア通信では通信データに応じてさまざまなBER及び伝送速度が要求される。伝送速度に応じて変調方式が選定され、要求BERから必要SINRが決定される。従って、必要SINRは通信ごとにさまざまな値となる。ここでは、移動局 $k$ の要求する必要SINRを $\gamma_k$ と表す。このような状況において、基地局では各ユーザの要求SINRを満たしつつ、送信電力を最小とするビーム形成を行うことが求められる。送信電力の低下により基地局は他セルへの干渉を低減することができる。また自セルにおいても基地局の送信電力が最大値に達するまでに多くのユーザの収容が可能となる。

【0051】ここで、前述と同様に、送信局では送信ウエイトを決定するにあたって、送信局内で「仮想上りリ

ンク」を考える。この「仮想上りリンク」の構成は、前記図2に示したものと同様である。そして、「仮想上りリンク」で計算されたウエイトは下りリンク送信ウエイトとして用いられる。また、基地局は図8の構成に従い、 $M$ 個のアンテナを用いてパス1を信号受信する状態を想定する。ここで、20は信号合成器、21はウエイト制御部、22aは逆拡散器、22bはウエイト乗算器、23はウエイトを表す。ユーザ $k$ のアンテナ $m$ における受信ウエイト係数を $w_{k,m}$ とすると、ユーザ $k$ の受信信号は各アンテナの信号をパス1に関して逆拡散した後、ウエイト $w_k = [w_{k,1}, \dots, w_{k,M}]^T$ で合成することにより求められる。ただし、 $w_k$ は $w_k^H u_{k,1} = 1$ を満たすウエイトである。

【0052】前述の場合と同様に、仮想上りリンクでは各ユーザが必要SINR $\gamma_k$ を満たし、なおかつ全ユーザの送信電力を最小とするために、前記(式2)で示される最適化条件(Op.1)による最適化が行なわれる。すなわち、基地局ではある送信電力状態のもとでユーザごとにMVD Rウエイトを決定する。次に、各ユーザの信号品質が必要SINR $\gamma_k$ に近づくようユーザの送信電力の変更を行なう。送信電力の変更を行なうと、基地局では再びMVD Rウエイトの決定を行なう。この繰返し

制御により最終的には前記(式2)の最適状態が達成できる。

【0053】次に、評価関数 $J_1$ を最小化を達成するためにウェイトに課せられる条件について述べる。状態 $n$ において各ユーザ12が伝搬路(11) $h_k(t)$ において

$$w_k^{(n)} = \frac{\Phi_k^{(n)-1} u_{k,1}}{u_{k,1}^H \Phi_k^{(n)-1} u_{k,1}} \quad (式7)$$

$$\Phi_k^{(n)} = \sum_{i=1}^K \sum_{l=1}^L \hat{P}_i^{(n)} \Phi_{k,i}^{(n)} + I$$

ここで、 $I$ は単位ベクトルを表す。また、 $\Phi_{k,i}^{(n)}$ は次式で表される。

信号電力 $\hat{P}_k^{(n)}$ で信号送信しているとする。このとき、基地局におけるユーザ $k$ のMVDRウェイト $w_k^{(n)}$ は次式で与えられる。

【数17】

【数18】

$$\begin{aligned} \Phi_{k,i}^{(n)} &= E \left[ \sum_{l=1}^L a_{i,l} Q_k(i,l) \cdot \sum_{l=1}^L a_{i,l}^H Q_k(i,l)^* \right] \\ &= \sum_{l=1}^L a_{i,l} \xi_k(i,l) \cdot \sum_{l=1}^L a_{i,l}^H \xi_k(i,l)^* + \sum_{l=1}^L a_{i,l} \phi_k(i,l) \cdot \sum_{l=1}^L a_{i,l}^H \phi_k(i,l)^* \\ \xi_k(i,l) &= \frac{1}{G} \sum_{p=1}^l c_k(pT_c)^* c_i((p-l+1)T_c) \\ \phi_k(i,l) &= \frac{1}{G} \sum_{p=1}^G c_k(pT_c)^* c_i((p-l+1)T_c) \end{aligned}$$

ここで、 $\xi_k(i,l)$ 及び $\phi_k(i,l)$ はユーザ $k$ とユーザ $i$ のパス1との符号間相関を表す。相関行列 $\Phi_{k,i}^{(n)}$ はユーザ $k$ パス1の逆拡散信号に関する相関行列を表している。ユーザ $k$ パス1に関して逆拡散を行なう際に、他ユーザの信号は符号相関 $\xi_k(i,l)$ 及び $\phi_k(i,l)$ に従って抑圧される。その結果、逆拡散信号に関する相関行列は上

式の形式で表される。

【0054】ウェイト $w_k^{(n)}$ によって合成信号が得られると、基地局における希望信号電力 $S_k^{(n)}$ 及び干渉雑音電力 $I_k^{(n)}$ はそれぞれ次式で表される。

【数19】

$$\begin{aligned} S_k^{(n)} &= \hat{P}_k^{(n)} |\rho_{k,1}|^2 \\ I_k^{(n)} &= \sum_{i \neq k} \hat{P}_i^{(n)} |\rho_{i,1}|^2 w_k^{(n)H} \Omega_{k,i} w_k^{(n)} + P_N |w_k^{(n)}|^2 \\ \Omega_{k,i} &= \sum_{l=1}^L \frac{\rho_{i,l}}{\rho_{i,1}} u_{i,1} \xi_k(i,l) \sum_{l=1}^L \frac{\rho_{i,l}^*}{\rho_{i,1}^*} u_{i,1}^H \xi_k(i,l)^* \\ &\quad + \sum_{l=1}^L \frac{\rho_{i,l}}{\rho_{i,1}} u_{i,1} \phi_k(i,l) \sum_{l=1}^L \frac{\rho_{i,l}^*}{\rho_{i,1}^*} u_{i,1}^H \phi_k(i,l)^* \end{aligned} \quad (式8)$$

【0055】次に、前述の場合と同様に、この受信信号を基準として各ユーザが上りリンク送信電力制御を行なう。すなわち、前記(式4)を用いて送信電力制御を行い、状態 $n$ での受信SINRと必要SINRの差分に応

じて信号電力の変更を行なう。状態 $n+1$ でのユーザの送信電力を行列形式で表すと次式が成り立つ。

【数20】

$$Q^{(n+1)} = DF^{(n)}Q^{(n)} + N^{(n)} \quad (式9)$$

$$D = \text{diag}[\gamma_1, \dots, \gamma_K]$$

$$Q^{(n)} = [\hat{P}_1^{(n)}|\rho_{1,1}|^2, \dots, \hat{P}_K^{(n)}|\rho_{K,1}|^2]^T$$

$$N^{(n)} = [\gamma_1\|w_1^{(n)}\|^2, \dots, \gamma_K\|w_K^{(n)}\|^2]^T$$

$$[F^{(n)}]_{k,i} = \begin{cases} 0 & \text{if } k = i \\ w_k^{(n)H} \Omega_{k,i} w_k^{(n)} & \text{if } k \neq i \end{cases}$$

ここで、 $Q^{(n)}$ は $Q_k^{(n)} = \text{hat}\{P\}_{k,1}^{(n)} |\rho_{k,1}|^2$ を要素に持つベクトルである。結局、ウエイト更新(式7)と送信電力制御(式9)の繰返しにより、最適条件(0p.1)が達成できる。

【0056】以上の手続きを繰返して行なうことにより、送信ウエイトを求めることができる。もう一度、ウエイト演算アルゴリズムを書きなおすと以下のようになる。

[Algorithm A']

1) 信号電力の初期値 $Q_k^{(1)}$  ( $k=1, \dots, K$ )を設定する。

2)  $k=1, \dots, K$ に対して次式のウエイトを求める

【数21】

$$w_k^{(n)} = \frac{\Phi^{(n-1)} u_{k,1}}{u_{k,1}^H \Phi^{(n-1)} u_{k,1}}$$

$$\Phi^{(n)} = \sum_{i=1}^K Q_i^{(n)} \Omega_{k,i} + I$$

3) ベクトル $Q^{(n+1)}$ を求める

【数22】

$$Q^{(n+1)} = DF^{(n)}Q^{(n)} + N^{(n)}$$

$n$ に1をたして再び制御2)に戻り、収束するまで制御2)及び制御3)を $n$ 回繰返す。

【0057】本制御において任意の初期値 $Q_k^{(1)}$  ( $k=1, \dots, K$ )を設定可能である。また、[Algorithm A']では $\Omega_{k,i}$ と $u_{k,1}$ が与えられれば、ウエイト $w_k^{(n)}$ の演算を行なうことができる。行列 $\Omega_{k,i}$ は図9に示す基地局内の $\varepsilon_k(i,1)$ 、 $\phi_k(i,1)$ のテーブルを用いて計算される。また、[Algorithm A']では各ユーザのMVDRウエ

$$\Omega_{k,i} = \frac{1}{G} \sum_{l=1}^L |\rho_{i,l}/\rho_{i,1}|^2 u_{i,l} u_{i,l}^H \quad (式10)$$

上式では、行列 $\Omega_{k,i}$ はユーザ $i$ のみに依存する。この場合には $\Phi_k^{(n)} = \sum_{i=1}^K Q_i^{(n)} \Omega_{k,i} + I$ は $k$ に依存することなく各ユーザで同一となるため、 $\Phi_k^{(n)}$ をユーザ間で共通化できる。従って、基地局ではユーザごとに逆行列演算を行なう必要はなくなり一つの逆行列 $\Phi_k^{(n-1)}$ を全ユーザで共有できる。本実施の形態による演算方法

イトを求めるにあたって、ユーザごとに $\Phi_k^{(n)}$ の逆行列演算が必要となる。また、[Algorithm A']では、制御2)において、各ユーザの相関行列 $\Omega_{k,i}$ に対する重み付け和を行なった相関行列 $\Phi_k^{(n)}$ を用いてウエイトを求め、制御3)において求められたウエイトをもとに重み付け係数 $Q^{(n)}$ の更新を行なう。その結果を用いて、再び制御2)ではウエイト演算を行なう。このように、ウエイトと重み付け係数の更新を交互に行なうアルゴリズムとなっている。

【0058】図7の下りリンクビーム形成では「仮想上りリンク」で求められた各ユーザのウエイトを用いてビーム形成を行う。このようなビーム形成法により、基地局では下りリンクにおける各ユーザの要求SINRを考慮したビーム形成が可能となる。また、「仮想上りリンク」において最適化を達成するウエイトを下りリンクにおいて用いると、実際の下りリンクにおいてもユーザ相互に与える干渉を減らすことが可能となる。

【0059】(実施の形態7)前記実施の形態6で用いられる $\Omega_{k,i}$ はユーザ $k$ とユーザ $i$ に依存しており、 $\Phi_k^{(n)} = \sum_{i=1}^K Q_i^{(n)} \Omega_{k,i} + I$ はユーザごとに異なる。従って、ウエイト演算過程においてユーザごとに $\Phi_k^{(n)}$ に関する逆行列演算が必要であり、演算量が膨大になる。本実施の形態では、(式8)の $\Omega_{k,i}$ をより簡易な関数に置きかえることによって演算量を減らす。以下では、本実施の形態における $\Omega_{k,i}$ の計算方法について説明する。

【0060】本実施の形態では、仮想上りリンクにおいて各ユーザがシンボル時間よりも十分周期の長いロング符号を用いる場合を想定する。このとき、相関行列 $\Omega_{k,i}$ は次式で与えられる。

【数23】

では逆行列演算数を減らすことが可能となり、基地局での演算量を軽減することができる。

【0061】(実施の形態8)本実施の形態では、(式10)の代わりに次式の $\Omega_{k,i}$ を用いる。

【数24】

$$\Omega_{k,i} = \frac{1}{G} \sum_{l=2}^L |\rho_{i,l}/\rho_{i,1}|^2 u_{i,1} u_{i,l}^H \quad (式 11)$$

(式11)では、各ユーザの $l=1$ のパスは相関行列に含まれていない。実際の下りリンクでは、各ユーザのパス1は直交符号を使っており直交関係が保たれているため、互いに干渉を及ぼさない。従って、パス1を相関行列成分から除去することにより、より直交符号に近い特性の相関行列演算ができる。このように、本実施の形態における $\Omega_{k,i}$ を用いると、基地局での演算量を軽減しつつ、下りリンクCDMAにおけるユーザ間直交符号の性質も考慮した相関行列を用いることができる。

【0062】(実施の形態9) 実施の形態6～8では、下りリンクにおけるビーム形成のみを扱った。これに対して、本実施の形態では、前記図4に関して説明した実施の形態2と同様に、下りリンクでビーム形成すると同時に送信電力制御を行なう。すなわち、実施の形態6～8の手法に従って、下りリンクビーム形成25が行なわれると、各ユーザに対して一定の電力でまず信号が送信される。各移動局12では受信SINRと必要SINRの比 $\alpha_k$ を求め、基地局にチャンネル24を用いて送信する。閉ループ送信電力制御の状態 $n$ における $\alpha_k$ 値を $\alpha_k^{(n)}$ とすると、基地局では $\alpha_k^{(n)}$ に基づいてユーザ $k$ の送信電力を前回の $\alpha_k^{(n)}$ 倍に設定する。この制御を複数回繰返すことにより、受信SINRを要求SINRと一致させることができる。このような送信電力制御法を用いることにより、各ユーザの受信SINRを要求SINRと等しくすることが可能となる。また、実施の形態6の下りリンクビーム形成法とあわせて用いると、基地局から各ユーザへの送信電力の総和を小さく抑えることが可能となる。従って、基地局では送信電力の低い状態が実現され、他のセルへの干渉電力も従来方式で閉ループ送信電力制御を用いる場合に比べてより低く抑えることが可能となる。

【0063】なお、ここでは下りリンクビーム形成が完了した後に閉ループ送信電力制御を行なった。しかし、その他に下りリンクビーム形成を行いながら、送信電力制御を行なう構成も可能である。具体的には、[Algorithm A']において制御2)及び制御3)の操作を1回行なうと同時に閉ループ送信電力制御の状態 $n$ を1回更新する。このように、ウエイト制御と送信電力制御を交互に行なう構成も可能である。また、[Algorithm A']を複数回行なう間に送信電力制御を1回行なう構成も可能である。

【0064】(実施の形態10) 前記実施の形態6～8では、全ての伝搬路パラメータが既知であるものとして、下りリンクビーム形成を行った。これに対して、本実施の形態では、前記実施の形態3と同様に、同一周波数において時間的に上下リンク交互に伝送を行なうTDD (Time Division Duplex) 型通信において、上りリン

クを受信信号情報を用いて下りリンクビーム形成を行う。図10に本実施の形態において上りリンク受信信号情報を得るための基地局構成図を示す。図中、30は各ユーザに対応する整合フィルタ部、31aは逆拡散器、31bは既知信号に対応するマッチドフィルタを表す。以下では、上りリンクの受信信号を用いて、下りリンクビーム形成用の伝搬路パラメータを計算する手法について説明する。

【0065】[Algorithm A']を実行するにあたって $\Omega_{k,i}$ が重要となる。 $\Omega_{k,i}$ は $u_{k,1}$ 、 $\rho_{k,1}/\rho_{k,i}$ 、 $\xi_k(i,1)$ 、 $\phi_k(i,1)$ により決定されるが、 $\xi_k(i,1)$ 、 $\phi_k(i,1)$ は図9に示す基地局内の参照テーブルより得られる。また、 $u_{k,1}$ 、 $\rho_{k,1}/\rho_{k,i}$ はCDMA上りリンクの受信信号より推定される。具体的には、アンテナごとに各ユーザ、各パスの逆拡散を行なう。また、逆拡散信号と既知信号との相関検出によりユーザ $k$ 、パス1の応答ベクトル $a'_{k,1}=[a'_{k,1,1}, \dots, a'_{k,1,M}]^T$ を推定する。このとき、 $u_{k,1}$ 及び $\rho_{k,1}/\rho_{k,i}$ はそれぞれ次式で与えられる。

【数25】

$$u_{k,1} = \frac{a'_{k,i}}{a'_{k,i,1}}$$

$$\left| \frac{\rho_{k,i}}{\rho_{k,1}} \right|^2 = \frac{|a'_{k,i,1}|^2}{|a'_{k,1,1}|^2}$$

この計算手法では電力比のみを用いているので、上りリンクでの送信電力制御時にも問題なく適用できる。従って、上りリンク受信信号を用いて $\Omega_{k,i}$ を求め、[Algorithm A']から最適ウエイトを演算することにより下りリンク最適ビーム形成を行なうことができる。このように本実施の形態の下りリンクビーム形成法では、上りリンク受信信号の情報を用いて下りリンクビーム形成を行うことができる。

【0066】(実施の形態11) 前記実施の形態6では、全ての伝搬路パラメータが既知であるものとして、下りリンクビーム形成を行った。これに対して、本実施の形態では、前記実施の形態4と同様に、基地局から送信される下りリンクパイロット信号を用いて移動局で伝搬路測定を行なう。すなわち、基地局では $M$ 本のアンテナから各アンテナ毎に異なるパターンの既知信号を全ユーザに向けて送信する。移動局では、基地局の各アンテナからの既知信号に対応する整合フィルタを用いて、各アンテナからの信号を相関検出し、基地局の各アンテナと移動局 $k$ との間の伝搬ベクトル $a_{k,1}$ を測定する。各移動局は測定した伝搬ベクトル $a_{k,1}$ を基地局へ通知し、基地局では、実施の形態6における伝搬ベクトル $a$

$k, 1$ に相当する値として利用する。従って、本実施の形態では下りリンクにおける基地局からのパイロット信号を利用して、各ユーザの伝搬ベクトルを求め、その結果をチャンネル32を用いて基地局に通知することにより、下りリンクウエイト決定を行なう。前記実施の形態10ではTDD方式の場合に、基地局において上りリンク受信信号情報を用いる手法について述べた。これに対して、本実施の形態における手法では上りリンク受信信号情報を用いないため、TDD通信に限らずFDD (Frequency Division Duplex) などさまざまなタイプの通信で用いることができる。また、下りリンクビーム形成後、実施の形態9の送信電力制御を組合せて利用することも可能である。

【0067】(実施の形態12) 前記実施の形態6では、仮想上りリンクにおいてパス1を希望信号と考え、他の遅延時間を有するパスを希望信号とは考えなかった。しかし、遅延を有する他のパスを希望信号としてウエイト演算アルゴリズムを構成することも可能である。本実施の形態では、他のパスを希望信号として含めた場合の構成について説明する。

【0068】本実施の形態では、仮想上りリンクにおいて図16及び図17と同じくアダプティブアレーと同時に遅延タップを有するRAKE受信を構成し、複数の遅延パスをRAKE受信をもちいて合成する。ただし、仮想リンクではユーザ間で直交符号が用いられるため、仮想上りリンクにおける基地局内各ユーザの逆拡散器では直交符号に関する逆拡散器が用意されている。また、本実施の形態では実施の形態6と同じく、ウエイト制御と送信電力制御を繰返す。すなわち、各ユーザはある状態においてある信号電力で基地局へ信号送信を行なう。基地局では、信号をアダプティブアレーとRAKE受信機を用いて受信し、その各ユーザの合成出力におけるSINRを計算する。次に、各ユーザの受信SINRと要求SINRの差分に応じて送信電力制御が行なわれる。このように、繰返しウエイト演算と送信電力制御を行なう

$$J_2 = \sum_{k=1}^K \|w_k\|^2 P_k \rightarrow \min$$

$$\text{subject to } \Gamma_k \geq \gamma_k$$

ここで、 $\Gamma_k$ は移動機kでのRAKE合成後SINRを表す。上記(式12)では、基地局からの総送信電力 $J_2$ の最小化が求められる。そこで、この基準に基づいて決定されるウエイトを以後MTTP (Minimum Total Transmission Power) 基準に基づくウエイトと呼ぶ。送信電力の低下は他セルへの干渉を低減する。また自セルにおいても基地局の送信電力が最大値に達するまでに多く

ことにより、RAKE受信を有するアダプティブアレーにおいて各RAKEフィンガでのウエイトを決定することができる。

【0069】下りリンクでは、このようにして求められたウエイトを用いて、基地局では遅延タップ付き送信機の構成により下りリンク信号送信を行なう。図11に下りリンク信号送信のための構成図を示す。図中40はチップ時間遅延器、41は乗算器を表す。本構成において、仮想上りリンクで得られたユーザkパス1のアンテナmにおけるウエイト係数は $w_{k1m}$ として下りリンクにおいて用いられる。このように、下りリンクにおいて遅延タップ付き送信機を構成することにより、移動局では受信品質のよい信号を得ることができる。また、下りリンク送信電力制御を行なう際には、基地局からの送信電力を低下することができる。

【0070】(実施の形態13) 前記実施の形態12においては、遅延タップ付き送信機を用い、各遅延パスを希望信号とするウエイトを決定していた。次に、各ユーザ受信機のRAKEフィンガの数を考慮したウエイト演算を行う実施の形態について説明する。なお、ここでは、TDD型CDMA通信を行うものとする。移動機では、単一アンテナ、RフィンガRAKE受信構成により信号受信が行われる。この際、RAKE受信機の第1フィンガでは基地局からの第1パス( $l=1$ )を受信する。また、RAKE受信の第rフィンガは第r番目の遅延パスを受信する。各フィンガでの受信信号は逆拡散された後、フィンガ間で最大比合成される。下りリンクにおけるユーザkの要求SINRを $\gamma_k$ とする。また、移動機kにおいて受信される他セルからの干渉電力と雑音電力の総和を1フィンガあたり $Z_k$ として表す。

【0071】下りリンクでは各ユーザが必要SINRを満たしつつ、送信電力を最少とすることが求められる。従って、最適化条件は次式で与えられる。

【数26】

(式12)

のユーザの収容が可能となる。

【0072】移動機でのRフィンガRAKE合成について説明する。RAKE合成では各フィンガのSINRに基づいてフィンガ間の信号合成を行う。このとき、RAKE合成後のSINRは、次式で表される。

【数27】



$$\Gamma_k = \sum_{r=1}^R \frac{S_{k,r}}{I_{k,r} + N_{k,r}} \approx \frac{GP_k w_k^H \Psi'_k w_k}{\sum_{i \neq k} P_i w_i^H \Psi_k w_i + Z_k} \quad (式 13)$$

$$\Psi_k = \sum_{l=1}^L a_{k,l} a_{k,l}^H, \quad \Psi'_k = \sum_{l=1}^R a_{k,l} a_{k,l}^H \quad (式 14)$$

【0073】各ユーザのRAKE合成後SINRは必要SINR  $\gamma_{req}$ と一致することが求められる。この状態を実現する送信電力制御法として、ここでは閉ループ送信電力制御法を想定する。閉ループ制御では、測定SINRと必要SINRの比  $\alpha_k$  を各移動機で計算し、基地局へ伝達する。基地局では、 $\alpha_k$  に応じて各移動機への送信電力を繰返し変更する。このとき、ユーザ  $k$  への状態  $n$  における送信電力を  $P_k^{(n)}$  とすると、状態  $n+1$  における送信電力  $P_k^{(n+1)}$  は次式で表される。

【数28】

$$\begin{aligned} P_k^{(n+1)} &= (\gamma_k / \Gamma_k^{(n)}) P_k^{(n)} \\ &\approx \frac{\gamma_k (\sum_{i \neq k} P_i^{(n)} w_i^H \Psi_k w_i + Z_k)}{G w_k^H \Psi'_k w_k} \end{aligned}$$

【0074】ここで、 $\Gamma_k^{(n)}$  は状態  $n$  における移動機  $k$  の測定SINRであり、前記(式13)で与えられる。全ユーザへの送信電力を行列表記を用いて同時に表すと次式が得られる。

【数29】

$$P^{(n+1)} = DF^T P^{(n)} + Z$$

$$D = \text{diag}[\gamma_1, \dots, \gamma_K]$$

$$P^{(n)} = [P_1^{(n)}, \dots, P_K^{(n)}]^T$$

$$Z = [Z_1, \dots, Z_K]^T$$

$$[F]_{k,i} = \begin{cases} 0 & \text{if } k = i \\ \frac{w_k^H \Psi_i w_k}{G w_i^H \Psi'_i w_i} & \text{if } k \neq i \end{cases}$$

$$\begin{aligned} J_2 &= W^T P \\ &= W^T [I - DF^T]^{-1} Z \\ &= Q^T D^{-1} Z \end{aligned} \quad (式 15)$$

$$Q = [I - DF]^{-1} DW$$

$$W = [\|w_1\|^2, \dots, \|w_M\|^2]^T$$

【0077】上式より、 $J_2$  はベクトル  $Q$  の各要素に関する重み付け和として表される。ここで、 $Q$  はウエイト  $w_k$  に依存するベクトルであるが、 $D$ 、 $Z$  は  $w_k$  に依存しない。

【0078】MTTP基準では、総送信電力  $J_2$  を最小

【0075】このような制御により、送信電力は最終的に以下の状態に収束する。

【数30】

$$\begin{aligned} P &= \lim_{n \rightarrow \infty} P^{(n)} \\ &= [I - DF^T]^{-1} Z \end{aligned}$$

【0076】従って、基地局からの総送信電力は次式で表される。

【数31】

化するウエイト  $w_k$  が要求される。(式15) 右辺において、 $Q$  のみが  $w_k$  に依存することを考慮すると、 $J_2$  の最小化は  $Q$  の各要素を最小とすることにより達成される。また、MTTPウエイトは他セルからの干渉  $Z$  とは無関係に決定できる。 $Q$  の各要素の最小化は同時に達成

可能であり、その解は以下に示すMTTPアルゴリズムの収束状態

【数32】

$$w = \lim_{n \rightarrow \infty} w^{(n)}, \quad Q = \lim_{n \rightarrow \infty} Q^{(n)}$$

$$w_k^{(n)} = \arg \max f_1(w_k)$$

$$f_1(w_k) = \frac{Q_k^{(n)} w_k \Psi_k' w_k^H}{\sum_{i \neq k} Q_i^{(n)} w_k^H \Psi_i w_k + w_k w_k^H}$$

(式16)

3) ベクトル $Q^{(n+1)}$ を求める。

【数34】

$$Q^{(n+1)} = DF^{(n)}Q^{(n)} + DW^{(n)}$$

$$[F^{(n)}]_{k,i} = \begin{cases} 0 & k = i \\ \frac{w_k^{(n)H} \Psi_i w_k^{(n)}}{G w_i^{(n)H} \Psi_i' w_i^{(n)}} & k \neq i \end{cases}$$

再び制御2)に戻り、収束するまで制御2)及び制御3)を $n$ 回繰り返す。このMTTPアルゴリズムにより求められるウェイトを送信ウェイトとすることにより、基地局からの送信電力を最小とする下りリンクビーム形成が可能となる。

【0080】前記制御2)のウェイト演算法について説明する。制御2)におけるウェイトは次式 $f_2(w_k)$ を最大化するウェイトを求めることに等しい。

【数35】

$$f_2(w_k) = \frac{P_k w_k \Psi_k' w_k^H}{w_k^H \Phi w_k}$$

$$\Phi = \sum_{i=1}^K Q_i^{(n)} \Psi_i + I$$

【0081】一般に、 $f_2(w_k)$ を最大化するウェイトは、次式を満たす一般固有ベクトル $e_1, \dots, e_M$ 及び一

$$\hat{\Psi}_k = \sum_{l=1}^L \hat{a}_{k,l} \hat{a}_{k,l}^H, \quad \hat{\Psi}_k' = \sum_{l=1}^R \hat{a}_{k,l} \hat{a}_{k,l}^H \quad (\text{式17})$$

上りリンクでは送信電力制御が行われており、 $\hat{a}_{k,1}$ は移動機-基地局間の伝搬係数を正確に記述していない。しかし、この場合にも $\hat{a}_{k,1}$  (及び $\hat{a}_{k,1}$ )はスカラー倍の変化を受けるのみであるので、MTTPアルゴリズムを適用可能である。

【0083】以上をまとめると、次のビーム形成手順となる。

- 1) 上りリンクにおいて、各ユーザ、各パスの伝搬路を推定する。
- 2) 前記(式17)より $\hat{a}_{k,1}$ 、 $\hat{a}_{k,1}'$ を計算し、任意の初期値 $Q_k^{(1)}$ を決定する。
- 3) 各ユーザのウェイト $w_k^{(n)}$ を固有値演算により計算

として与えられる。

【0079】[MTTPアルゴリズム]

1) 任意の初期値 $Q_k^{(1)}$  ( $k=1, \dots, K$ )を設定する。

2) 状態 $n$ でのウェイトを求める。

【数33】

般固有値 $\lambda_1, \dots, \lambda$ のうち、最大固有値 $\lambda_i$ に対応する固有ベクトル $e_i$ として与えられる。

【数36】

$$\Psi_k' E = \Phi E \Lambda$$

$$E = [e_1, \dots, e_M], \quad \Lambda = \text{diag}[\lambda_1, \dots, \lambda]$$

なお、 $\Psi_k'$ はRAKEフィンガ数 $R$ に依存しており、演算ウェイトもRAKEフィンガ数 $R$ に依存する。本演算法ではRAKEフィンガで受信される全パスに対する送信電力が強くなるようビームが形成される。

【0082】次に行列 $\Psi_k$  (及び $\Psi_k'$ )の演算法について述べる。本来 $\Psi_k$ は(式14)に示すように移動機 $k$ と基地局間の伝搬係数を含めた伝搬路応答に基づいて決定される。しかし、MTTPアルゴリズムではそのスカラー倍 $\beta_k \Psi_k$ を用いてもウェイト演算に問題はない。そこで、行列 $\Psi_k$  (及び $\Psi_k'$ )を上りリンクの受信信号を用いて求める手法について説明する。基地局では、上りリンクにおいてアンテナごとに各ユーザ、各パスの逆拡散を行う。また、逆拡散信号と基地信号との相関検出によりユーザ $k$ 、パス $l$ の伝搬ベクトル $\hat{a}_{k,1} = [\hat{a}_{k,1,1}, \dots, \hat{a}_{k,1,N}]^T$ を推定する。この情報を用いて推定値 $\hat{a}_{k,1}$  (及び $\hat{a}_{k,1}'$ )を次式で与える。

【数37】

する。

【数38】

$$w_k^{(n)} = e(\Psi_k', \Phi)$$

4)  $Q^{(n+1)}$ を計算する。

【数39】

$$Q^{(n+1)} = DF^{(n)}Q^{(n)} + DW^{(n)}$$

上記3)および4)の操作を $n$ 回繰り返す。

【0084】なお、以上においては、基地局が各端末のRAKEフィンガ数 $R$ を認知することを前提としている。これは、呼受け付け制御時に $R$ を認知することで可

能となる。また、便宜的に標準的な移動機装備に基づいて固定値 $R$ を用いることも可能である。この実施の形態によれば、移動機の有するRAKEフィンガ数と等しいパス数に対して信号電力を最大とするビーム形成が可能となる。また、前記実施の形態12よりも少ない演算量で大きな効果を得られる。

【0085】(実施の形態14) 上記実施の形態13におけるMTTPアルゴリズムの制御2)(式16)において求めたウエイトは、上りリンクにおけるビーム形成を行うために使用することができる。すなわち、前記(式16)で求めたウエイトを前記図8に示した基地局受信機におけるウエイトとして使用することができる。

【0086】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の無線送信装置によれば、ユーザの重要度に応じてビーム形成することを可能とする。また、各受信局への相互の干渉を抑えつつ、複数受信局へアダプティブアレーを用いて効率的に信号伝送することが可能となる。また、送信局において逆方向信号の受信信号を利用して伝搬路情報を推定する本発明の無線送信装置によれば、伝搬路情報をあらかじめ知らなくても、送信用ビーム形成を行うことが可能となる。さらに、基地局から送信される既知信号を利用して伝搬路情報を推定する本発明の無線送信装置によれば、伝搬路情報をあらかじめ知らなくても、送信用ビーム形成を行うことが可能となる。また、逆方向の受信信号情報を利用する必要もない。さらに、TDD型通信に加えてFDD型通信等さまざまな通信環境で伝搬情報を正確に把握できる。さらにまた、ユーザの要求するSINRに応じてビーム形成を行う本発明の無線送信装置によれば、高SINRを要求するユーザへの干渉を優先的に減らすようビーム形成することが可能である。さらにまた、ユーザの受信機におけるRAKEフィンガ数に基づいてビーム形成を行う本発明の無線送信装置によれば、ユーザのRAKEフィンガ数と等しいパス数に対して信号電力を最大とするようにビーム形成することが可能となる。さらにまた、ビーム形成と合わせて送信電力制御を行なう本発明の無線送信装置によれば、基地局から信号送信する送信電力を低く抑えることが可能となる。さらにまた、ウエイト決定手段は、特に直交符号の符号間相関を利用する本発明の無線送信装置によれば、下りリンクにおいて直交符号を用いるCDMA方式においてユーザ相互に与える干渉を低減しつつ、ビーム形成することが可能となる。さらにまた、時間遅延を有する希望信号の重ね合わせにより生成された信号の送信を行なう本発明の無線送信装置によれば、伝搬遅延を想定してあらかじめ基地局で時間遅延を有する希望信号の重ね合わせにより生成された信号の送信を行なうことにより、受信局においてパスの伝搬遅延による精度劣化を防ぐことが可能となる。さらにまた、仮想的に前記複数のユーザから信号を受信する状態を想定し、該想定に基づ

いて前記複数のアンテナに供給する前記各ユーザに対する送信信号のウエイトを決定する本発明の無線送信装置によれば、「仮想上りリンク」を想定することにより、下りリンクにおいて各ユーザの通信品質を満たしつつ、なおかつ基地局からの送信電力を最低とする理論的に最適な下りリンクビーム形成を行なうことができる。さらにまた、複数のユーザの伝搬路情報に対応する複数の相関行列に関する重み付け和を行った相関行列と、当該ユーザの伝搬路情報に対応する相関行列とに対する一般固有値を用いて、前記複数のアンテナに供給する前記各ユーザに対する送信信号のウエイトを決定するウエイト決定手段を有する本発明の無線送信装置によれば、移動機の有するRAKEフィンガ数と等しいパス数に対して信号電力を最大とするビーム形成が可能となる。さらにまた、各ユーザのRAKE合成後の受信SINRが必要とするSINR以上であり、かつ、送信局の総送信電力が最小となるように決定されたウエイトを受信ウエイトとして使用する本発明の無線受信装置によれば、少ない演算量で受信ウエイトを求めることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明のSDMA方式の下りリンクに関する実施の形態における基地局下りリンクビーム形成部の基本的な構成を示す図である。

【図2】 本発明における「仮想上りリンク」の構成を示す図である。

【図3】 本発明における上りリンク基地局構成の一構成例を示す図である。

【図4】 本発明における下りリンク送信電力制御の構成を示す図である。

【図5】 本発明における上りリンク受信信号から伝搬路情報を抽出するための信号処理部の構成を示す図である。

【図6】 本発明における伝搬路情報推定法に関する構成を示す図である。

【図7】 本発明のCDMA基地局用アダプティブアレーに関する実施の形態における基地局の下りリンクビーム形成のための構成を示す図である。

【図8】 本発明における上りリンクの基地局構成例を示す図である。

【図9】 符号間相関 $\phi_k(i, l)$ に関するデータテーブルの一例を示す図である。

【図10】 上りリンク受信信号から伝搬路情報を抽出するための基地局構成の一例を示す図である。

【図11】 遅延タップ付きの下りリンク信号送信を行う基地局構成を示す図である。

【図12】 従来のSDMA方式における基地局構成における上りリンク信号処理部の構成を示す図である。

【図13】 基地局アンテナの詳細を表す図である。

【図14】 SDMAの利用状態を表す図である。

【図15】 従来の基地局構成における下りリンク信号

処理部の構成を示す図である。

【図16】 従来のCDMA基地局構成における上りリンク信号処理部の構成を示す図である。

【図17】 従来の基地局構成における1ユーザあたりの上りリンクアダプティブ信号処理部の構成図である。

【図18】 従来のCDMA基地局送信アダプティブアレーの構成を示す図である。

【図19】 下りリンクCDMAアダプティブアレーの利用状態を表す図である。

【符号の説明】

- 1 基地局アンテナ
- 2 送信ウェイト乗算器
- 3 送信電力及びウェイト制御部
- 4 ウェイト乗算器

5 信号コピー器

6 電力変換器

10 基地局

11 伝搬路

12 移動局(ユーザ)

20 信号合成器

21 ウェイト制御部

22a 逆拡散器

22b ウェイト乗算器

23 ウェイト

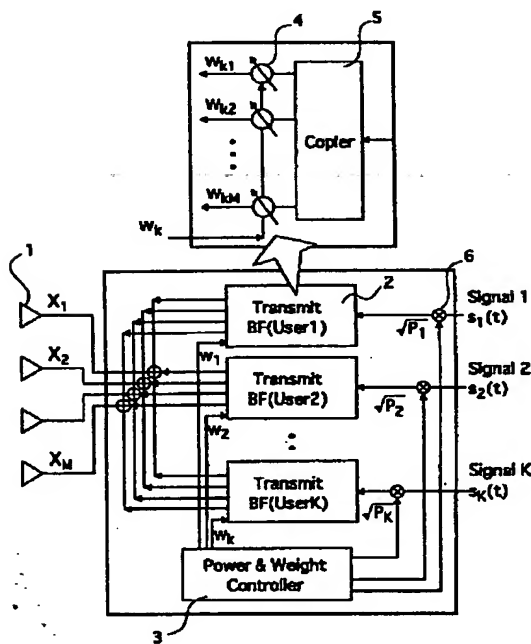
30 整合フィルタ

31 デジタルフィルタ

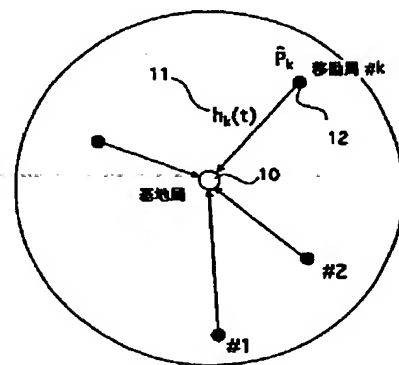
31a 逆拡散器

31b マッチドフィルタ

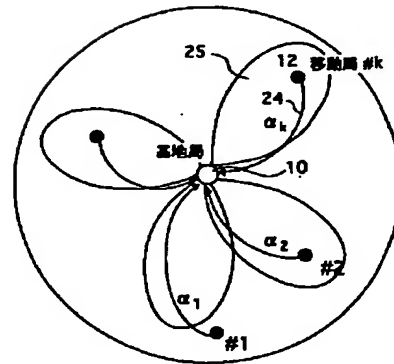
【図1】



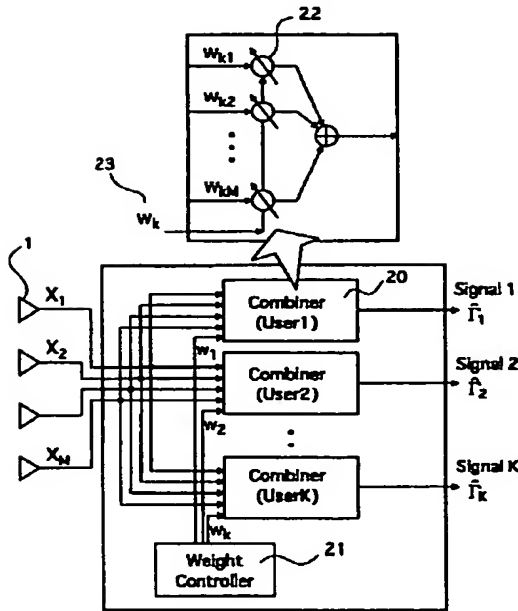
【図2】



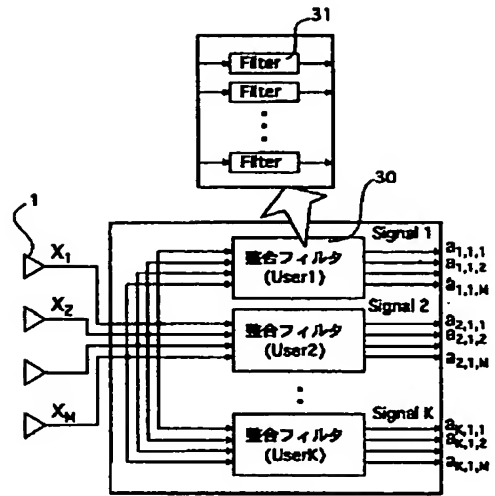
【図4】



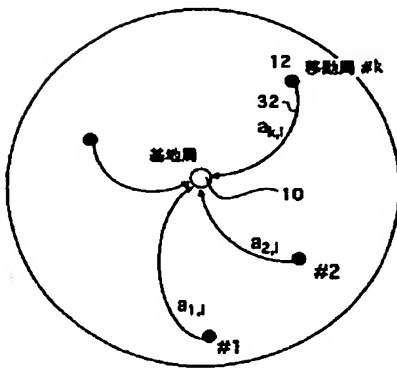
【図3】



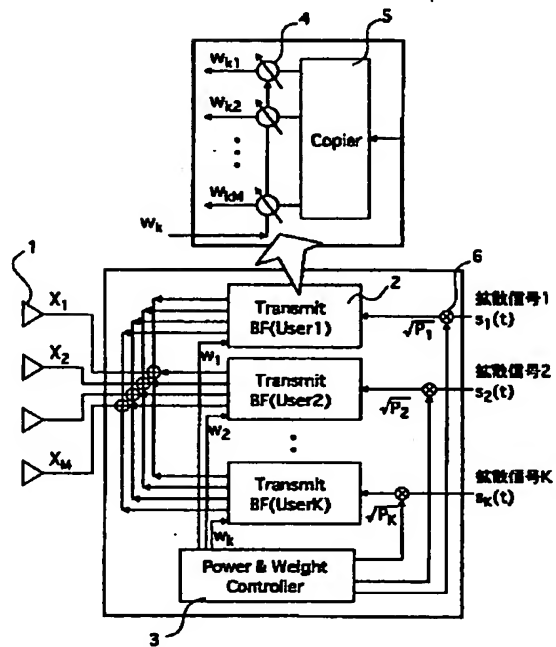
【図5】



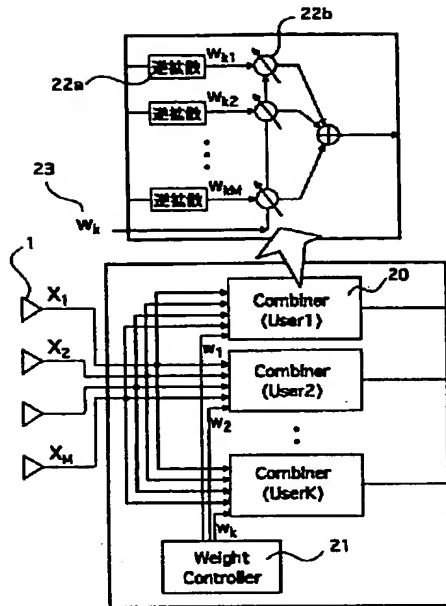
【図6】



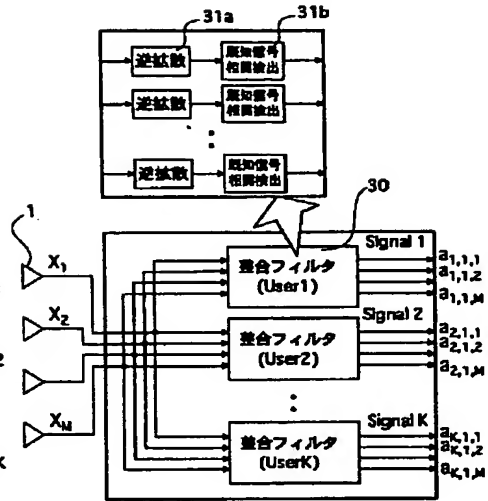
【図7】



【図8】



【図10】

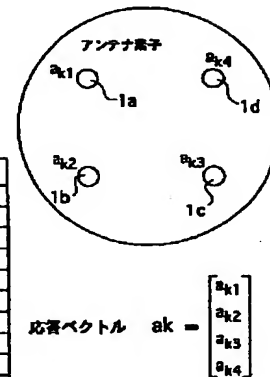


【図13】

【図9】

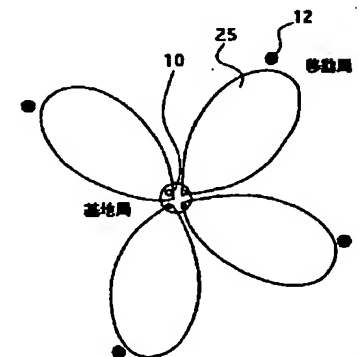
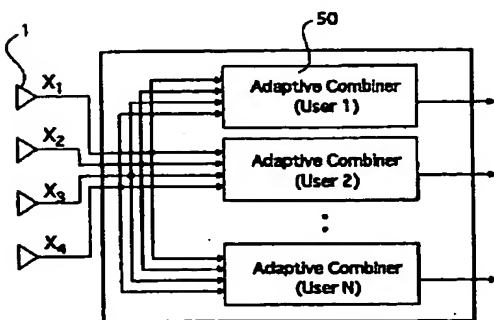
$\Phi_k(i,l)$

$k=K$		1	2	3	4	5	6	7	8	9
$k=2$	$l=1$	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
$k=2$	$l=2$	0.9844	0.0156	0.0156	-0.0156	0.0156	-0.0156	-0.0156	0.0156	0.0156
$k=2$	$l=3$	0.9688	0.0000	0.0313	0.0000	0.0313	0.0000	-0.0313	0.0000	0.0313
$k=2$	$l=4$	0.9531	0.0156	0.0156	0.0156	0.0469	-0.0156	-0.0156	-0.0156	0.0469
$k=2$	$l=5$	0.9375	0.0000	0.0000	0.0000	0.0625	0.0000	0.0000	0.0000	0.0625
$k=2$	$l=6$	0.9219	0.0156	0.0156	-0.0156	0.0469	0.0156	0.0156	-0.0156	0.0781
$k=2$	$l=7$	0.9063	0.0000	0.0313	0.0000	0.0313	0.0000	0.0313	0.0000	0.0938
$k=2$	$l=8$	0.8906	0.0156	0.0156	0.0156	0.0156	0.0156	0.0156	0.0156	0.1094
$k=2$	$l=9$	0.8750	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1250
$k=2$	$l=10$	0.8594	0.0156	0.0156	-0.0156	0.0156	-0.0156	-0.0156	0.0156	0.1094

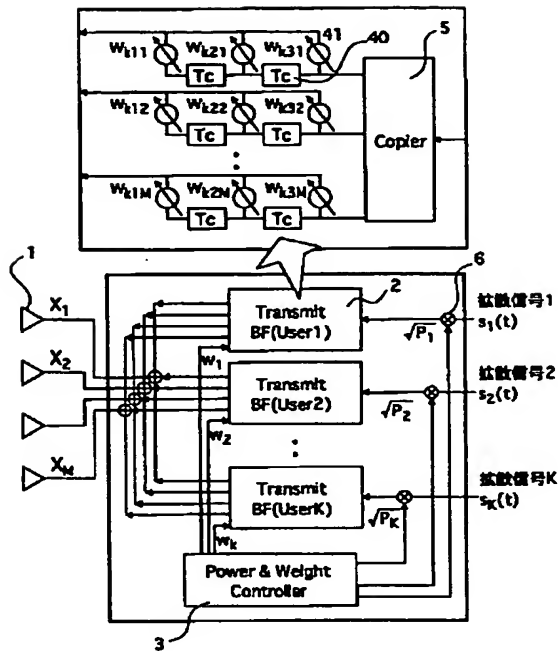


【図14】

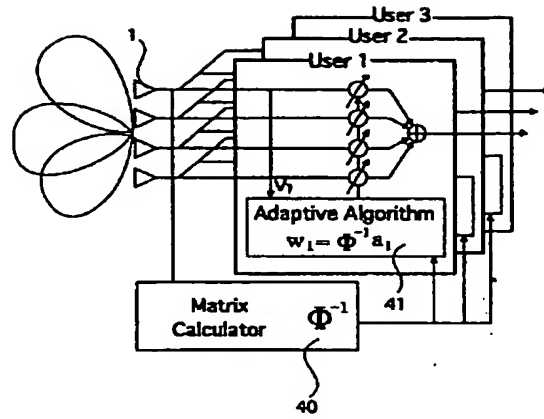
【図16】



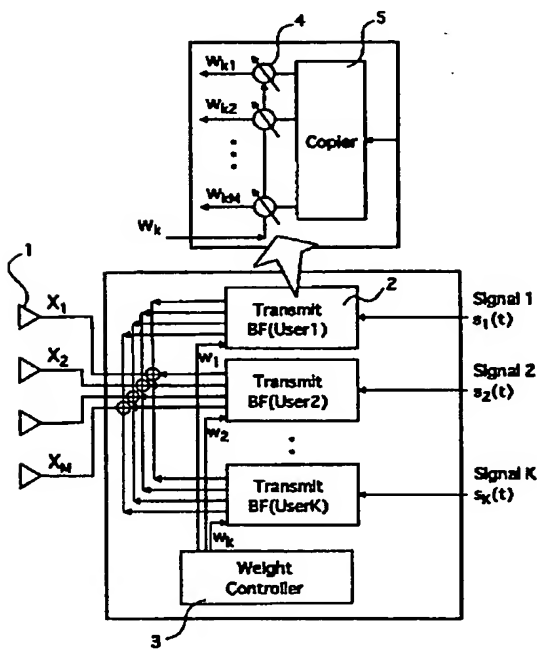
【图11】



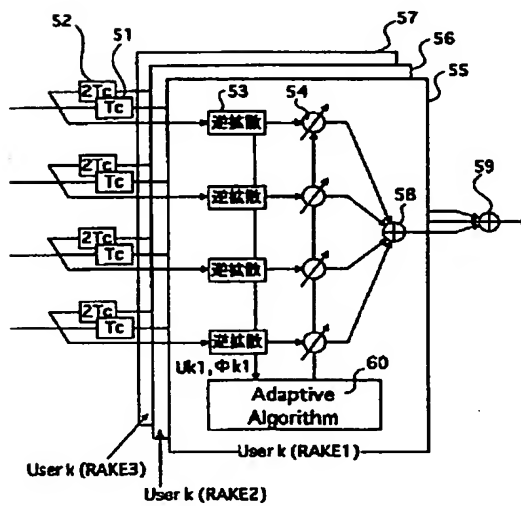
【图12】



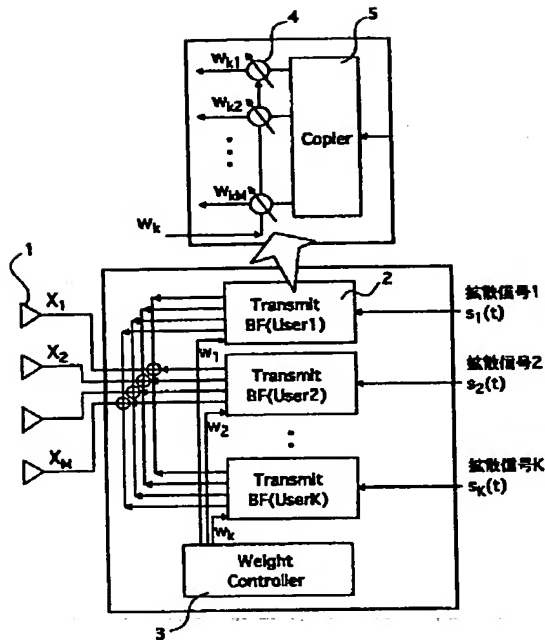
【图15】



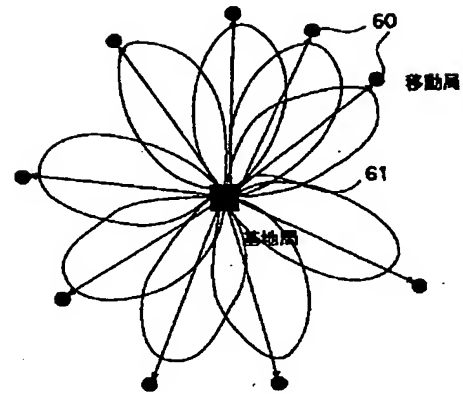
【图17】



【図18】



【図19】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

識別記号

H 04 B 7/26  
1/707  
H 04 J 15/00

102

F I

ターコード (参考)

H 04 J 15/00  
H 04 B 7/26  
H 04 J 13/00

B

D

(72) 発明者 原 嘉孝

神奈川県横須賀市光の丘3番4号 株式会  
社ワイ・アール・ビー移動通信基盤技術研  
究所内

Fターム(参考) 5K022 EE02 EE22 EE32 FF00

5K059 CC02 CC03 CC04 DD37 DD39  
EE02

5K060 BB05 CC04 DD04 KK03 LL01

5K067 CC01 CC10 EE02 EE10 GG08

KK02 KK03